Lane Medical Library

Ueber

den Mechanismus der Accommodation.

Inaugural-Dissertation

der

hohen medicinischen Facultät der Universität Heidelberg

zur

Erlangung der Doctorwürde

vorgelegt von

C. NICOLAÏ

aus Nymwegen.

Decan: Prof. **v. Schroeder.** Referent: Prof. **Th. Leber.**

NYMWEGEN,
H. C. A. THIEME.
1894.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153303_0007

Seiner teueren Mutter

und

Seiner lieben Frau

gewidmet

Vom Verfasser.

DER MECHANISMUS DER ACCOMMODATION.

Durch die Untersuchungen von Langenbeck, Cramer und von Helmholtz ist mit Sicherheit bewiesen, dasz die Accommodation eintritt durch eine Formveränderung der Linse. Nach von Helmholtz wird die Formveränderung verursacht durch eine Wirkung des musculus ciliaris, nach Cramer ist die Iris einzig und allein die Ursache der Wirkung. Die Theorie von v. Helmholtz wird als die meist wahrscheinliche ziemlich allgemein angenommen. Nach meiner Meinung ist sie jedoch nicht im Stande alle Erscheinungen zu erklären. In dem hier folgenden Berichte werde ich trachten darzuthun, dasz die Theorie von v. Helmholtz wohl hinreicht die meisten der wahrgenommenen Veränderungen zu erklären, dasz wir aber auch zur Erklärung des ganzen Accommodationsmechanismus die Theorie von Cramer in Anwendung bringen müssen. Dabei werde ich eine Erscheinung etwas mehr hervorheben als gewöhnlich geschieht, weil diese, wie ich glaube, grosze Bedeutung hat; diese besteht nämlich in der Erweiterung der vorderen Augenkammer an der Peripherie. In einzelnen Handbüchern über Augenheilkunde (Schmidt—Rimpler) wird die Erscheinung selbst nicht erwähnt, in andern (Schweigger) wird sie eben angerührt. v. Helmholtz nennt sie zwar und beschreibt selbst sehr genau, wie

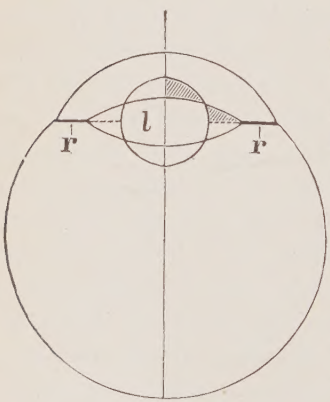
wir sie wahrnehmen können [1]), legt ihr jedoch nicht so viel Bedeutung bei, als sie nach meiner Meinung verdient.

Um eine deutliche Einsicht in die Veränderungen zu bekommen, welche in einem Auge eintreten, das für die Nähe accommodiert, lasse ich einige Betrachtungen über ein Paar weniger komplizierte Fälle vorangehen.

1er Fall.

Ein elastischer Körper (*l*), an einem gespannten elastischen Ringe (*r*) aufgehängt, befindet sich in einer Flüssigkeit von gleichem Drucke. Die Wand, die das Ganze einschlieszt, ist ebenfalls elastisch. Was geschieht, wenn der Ring weniger gespannt wird?

Fig. I.



Der elastische Körper wird streben, die Kugelform anzunehmen. Da der Raum, von der Flüssigkeit (worin der Körper sich befindet) eingenommen ist, und der Inhalt des Körpers selbst durch die Abspannung des Ringes keine Veränderung erfährt, kann der elast. Körper diese Neigung nachgeben. Nur Verschiebungen von Flüssigkeit sind nötig und diese geschehen leicht, unabhängig von der Grösze des Druckes, welcher in der Flüssigkeit vorhanden ist.

2er Fall.

Verhalten wie im 1en Fall, nur ist hier der Druck in der Flüssigkeit hinter *l* gröszer, als davor [2]).

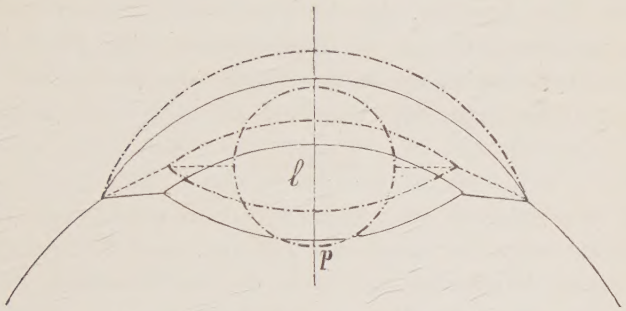
---

[1]) Physiol. Optik, 2e Aufl. Seite 135.

[2]) Wenn der Druck hinter *l* > als davor ist, musz das Septum, das gebildet wird von Ring und Körper convex nach vorne gebogen sein.

Die Abspannung des Ringes wird die Folge haben, dasz der Körper im Ganzen vorwärts gedrückt wird, so lange, bis

Fig. 2.



der Druck vornen und hinten im Gleichgewicht ist. Dann steht l wieder unter denselben Verhältnissen, wie im ersten Falle. Die Gestalt des Raumes vor l musz sich hierbei ändern. Wieviel der Körper sich von der Stelle bewegt, hängt hauptsächlich von der Elasticität der Vorderwand ab.

Der hinterste Pol (p) des elast. Körpers kann sich, nachdem die Abspannung des Ringes erfolgt ist, vor, auf, oder hinter der Stelle befinden, wo er sich vor der Abspannung befand.

Die Veränderung, welche der Körper erleidet, wird bestimmt werden von der Elasticität des Körpers selbst und von der Spannung des Ringes. Ob der Druck vor l kleiner ist als dahinter, ist von keiner Bedeutung; der Druck *im* Körper ist immer überall gleich grosz, und darauf kommt es an.

Ein zusammengedrückter, und mit Flüssigkeit gefüllter, elast. Körper nimmt die Kugelform an, sobald der äuszere Druck aufhört, weil im zusammengedrückten Zustande der Druck auf jedem Teile der Wand nicht von gleicher Grösze ist. Ist der Druck (in einer zusammengedrückten Kugel)

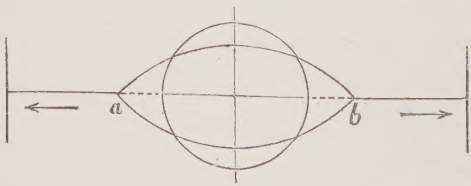
Fig. 3.

z. B. 20 Mm. Hg., dann ist der Druck gegen einen Teil der Vorderwand *ab* = dem Gewicht einer Quecksilbersäule, welche die Kreisfläche, deren Durchmesser *a* und *b* verbindet, zur Basis hat und 20 Mm. hoch ist. An der Peripherie ist der Druck auf einem gleichen Teil *cd* = dem Gewicht einer gleich hohen Quecksilbersäule, welche die Kreisfläche zwischen *c* und *d* zur Basis hat. Da nun der Wandteil *cd* viel mehr von einer Ebene abweicht als *ab*, ist auch die gerade Linie zwischen *c* und *d* viel kleiner als zwischen *a* und *b*. Der Druck gegen *ab* ist also gröszer als gegen *cd* und *ab* weicht aus. Dieses Abweichen wird so lange dauern, bis jeder Teil der Wand eine gleiche Krümmung hat, d. h. bis die Kugelform erreicht ist. Es ist deutlich dasz die Veränderung von Gestalt mit Verschiebung vom Inhalt zusammengehen musz. Ist der Inhalt wenig flüssig, dann wird die elast. Wand nur zum Teile der Neigung, die Kugelform anzunehmen, nachgeben können. Je flüssiger der Inhalt, desto mehr wird die Formveränderung sich hervorthun.

Zweitens wird die Formveränderung des elastischen Körpers abhängen vom Ringe, woran er befestigt ist.

Nähern sich, bei Erschlaffung des Ringes, die Anheftungspunkte *a* und *b* bis zu einer Entfernung, die gleich ist dem Durchmesser der Kugel, dann wird der elast. Körper sich ganz seiner Neigung hingeben können; sonst nur zum Teile.

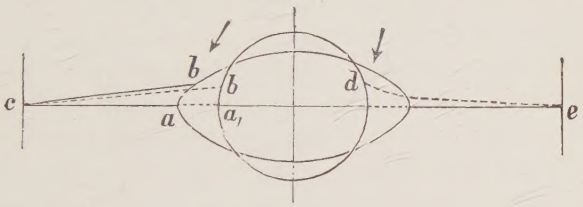
Fig. 4.



Wie ist es mit der Formveränderung, wenn der Ring zwei Anheftungspunkte *a* und *b* an dem elast. Körper hat, den einen Punkt (*a*) an der Peripherie, den anderen (*b*) weiter nach vorne? Gesetzt, dasz der Körper die Kugelform annehme; *a* hat sich dann nach *a'* verschieben können, *b* hat sich auch verschoben, aber weniger als *a*, weil die Verschiebung an der Peripherie

am grösten ist. Der Punkt *b* wird dann nicht so weit von der Stelle gehen als die Erschlaffung des Bandes *bc*, wohl erlauben würde; das Band *bc* ist jetzt weniger gespannt als *ac*; m. a. W.: für die Formveränderung des elast. Körpers hat das elast. Band *bc* keine Bedeutung, weil ein anderes elast. Band *ac* seinen Anheftungspunkt an der Peripherie hat. Im allgemeinen: wenn der elast. Körper an mehrere

Fig. 5.



elast. Bänder (von gleichem elast. Coëfficient) befestigt ist, wird die Formveränderung bei Erschlaffung der Bänder bestimmt werden von jenem Bande, welcher am nächsten zu der Peripherie seinen Anheftungspunkt hat.

Ich spreche hier mit Vorbedacht von elast. Bändern, nicht von einem elast. Ringe.

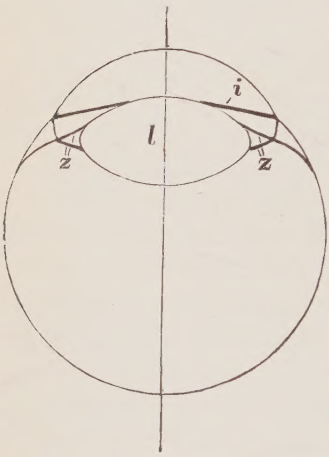
Ein geschlossener Ring als vorderste Anheftung, würde wohl sicherlich Einflusz haben können auf die Gestaltveränderung. Beim Annehmen der Kugelform wird der Körper an der Peripherie kleiner, an den Polen gröszer; es entsteht eine Flüssigkeitsströmung zur Peripherie (in der Richtung des Pfeiles, sieh Fig. 5). Dieser Strom stöszt gegen den Ring *bc* und versucht diesen rückwärts zu bringen. Gelingt ihm dieses, dann kann die Gestaltveränderung von *l* so zur Ausführung kommen, als wäre der Vorderring nicht da; gelingt es jedoch nur teilweise, dann kann die Kugelform nicht erreicht werden. In beiden Fällen wird der Ring concav nach vorne gebogen sein (*de*).

Enthält der Ring Öffnungen, grosz genug um die Flüssigkeit

frei durch zu lassen, so hat er keinen Einflusz auf die Formveränderung. Es ist deutlich, dasz er bei Erschlaffung auch noch nach vorne concav gebogen sein kann.

Sehen wir, nach diesen Beobachtungen, wie sich das Auge verhält, das für die Nähe accommodiert. Das Auge besteht aus einer elast. Wand: Sclera + Chorioidea (und Retina) und Cornea, gefüllt mit Flüssigkeit (das Corpus vitreum können wir einer Flüssigkeit gleich stellen). In dieser Flüssigkeit befindet sich ein elast. Körper, die Linse, aufgehängt an einem elast. Ringe (z), der Zonula Zinnii.

Fig. 6.



Auszerdem haben wir in der Vorderkammer noch die Iris (i), auch ein elast. Organ, welche convex nach vorne gebogen ist, also auf die Linse drückt. Als Folge dieses Druckes musz der intra-oculäre Druck, welcher sonst im ganzen Raume gleich sein könnte, nun im Corp. Vitr. gröszer werden. [1])

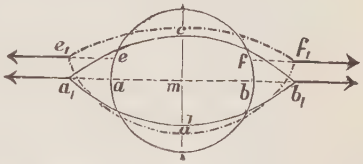
Wir haben also alles, was wir im Falle 2 annahmen.

---

[1]) Der Druck vor und hinter der Zonula kann gleich grosz sein, wenn die Glasflüssigkeit leicht durch die Zonula dringen kann. Sehr viel Kraft ist gewisz nicht nötig um die Flüssigkeit in die hintere Augenkammer zu bringen, schon das Gewicht der Linse genügt dazu. Legt man ein Auge, an welchem die Flüssigkeit aus der Vorderkammer weggenommen ist, mit der Cornea nach oben, so stellt sich die Vorderkammer in kurzer Zeit wieder her. Man kann diesen Versuch mit demselben Auge mehrere Male wiederholen. Im lebendigen Auge sind die Verhältnisse natürlich anders, da ist die Iris convex nach vorne gespannt und drückt also auf die Linse. Es wird dann immer eine gewisse Kraft nötig sein, um die Flüssigkeit

Die Linse ist ein elast. Körper, der seine Elasticität der Kapsel verdankt. Wäre der Inhalt ganz, oder nur zum Teile flüssig, so würde die Linse in ungespanntem Zustande die Kugelform annehmen müssen. In Wirklichkeit thut sie solches in den Augen von Embryonen. Der Inhalt wird jedoch allmählig fester, im ungespannten Zustande bleibt die Gestalt dann mehr und mehr derjenigen gleich, welche die Linse im gespannten Zustande hatte: die Linse wird platter. [1])

Fig. 7.



Der Krümmungsradius der Vorder- und Hinterfläche ist nicht gleich; der der Vorderfläche miszt ungefähr 10 Mm., der der Hinterfläche ungefähr 6 M.m. Hieraus darf man schlieszen, dasz die Resultanten der Kräfte (die Zonulablätter), welche die Linse spannen, nicht im Mittelpunkte der Linse ihren Anheftungspunkt haben. Wird ein elast. Körper gespannt von einer Kraft, die im Mittelpunkt angreift, so wird die Dehnung von beiden Hälften gerade gleich sein; *a* verschiebt sich nach *a'*, *b* nach *b'* und der Bogen *a'cb'* wird gleich werden dem Bogen *a'db'* (sieh Fig. 7). Greift jedoch die Kraft in *e* und *f* an, so wird der kleinste Bogen mehr gespannt als der gröszte, nähert sich also mehr der rechten Linie; der Bogen *e'cf'* hat einen gröszeren Radius als *e'df'*.

Die Zonula Zinnii ist der elast. Ring, an welchem die Linse aufgehängt ist. Für uns ist nur der Teil der Zonula von Bedeutung, welcher sich zwischen dem Corpus ciliare und dem Linsenrande befindet. Vom Corpus ciliare entspringen verschiedene Faserbündel; ein Teil heftet sich an der vorderen

---

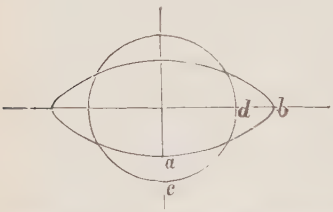
von der Hinter- in die Vorderkammer zu pressen; der Druck musz also im Corp. Vitr. immer gröszer sein, als in der Vorderkammer.

[1]) Man kann sich leicht von der Thatsache überzeugen, dasz nur der zähe Inhalt die Ursache ist von der platten Gestalt. Läszt man eine Linse (vom Menschen) einige Tage in einer ½ % NaCl.-lösung liegen, so wird der Inhalt zum Teile flüssig und die Linse nimmt die Kugelform an.

Linsenkapsel an (sog. vorderstes Zonulablatt), ein anderer Teil am Linsenrande und an der hinteren Linsenkapsel (hinteres Zonulablatt). [1]) Die Anheftungspunkte des vorderen Zonulablattes befinden sich weiter vom Linsenrande, als die des hinteren (s. Fig. 6).

Vor der Linse befindet sich die wässerige Feuchtigkeit, eine Flüssigkeit, dahinter, das Corpus vitreum. Können wir den Glaskörper einer Flüssigkeit gleichstellen, was die Verschiebung von den Polen nach der Peripherie betrifft? Wäre das Corp. vitreum mit der ganzen hinteren Linsenwand fest verbunden, dann gewisz nicht. Beim übergang in die Kugelform wird die Linsenkapsel kürzer; der Bogen *cd* (Fig. 8) ist kleiner als *ab*. Wenn der Glaskörper fest verbunden wäre mit der Kapsel, so würde er also zusammengedrückt werden müssen, damit die Formveränderung zu Stande kommen könnte. Da nun der Glaskörper nicht zusammengedrückt werden kann und trotzdem die Formveränderung zu Stande kommt, so dürfen wir den Schluss ziehen, dasz das Corpus vitreum sich längs der Hinterwand verschieben kann. Es zeigt sich nun, dasz in Wirklichkeit ein capillärer Raum besteht zwischen Linsenkapsel und Corp. vitreum, der Canalis Petiti.

Fig. 8.



Die Veränderungen, welche bei der Accommodation für die Nähe, bemerkt werden, sind nach von Helmholtz [2]) folgende:

1. die Pupillenverengung;
2. die Verschiebung des Pupillenrandes, der Iris und der Mitte der vorderen Linsenfläche nach vorne;

---

[1]) Schwalbe, Anatomie d. Auges, S. 143.

[2]) Physiolog. Optik. 2e Aufl. Seite 130 u. w.

3. das Gewölbter werden der vorderen Linsenfläche;
4. das Gewölbter werden der hinteren Linsenfläche;
5. das Zurückweichen des peripheren Irisrandes und
6. die Verschiebung des Corpus ciliare, wodurch dieses der Peripherie der Linse näher kommt.

Nach v. Helmholtz kommen diese Veränderungen zu Stande durch Contraction des musculus ciliaris. [1]) „Die in Richtung der Meridianen des Auges verlaufenden Radialfasern des Ciliarmuskels, welche am hinteren Ende der Ciliarfortsätze im Gewebe der Aderhaut endigen, werden bei ihrer Zusammenziehung das dort mit der Aderhaut und Glashaut fest verbundene hintere Ende der Zonula nach vorn ziehen, und dadurch die Spannung der Zonula und ihren Zug gegen die Peripherie der Linse aufheben müssen, so dasz in Folge davon die Linse in Richtung ihrer Durchmesser sich zusammenziehen, in Richtung ihrer Axe sich verdicken wird.

Der Zug des Ciliarmuskels wird aber auch nach vornhin sich geltend machen, wo er sich an das elastische Gewebe an der inneren Seite des Canalis Schlemmii ansetzt. Er wird dieses nach Rückwärts hin dehnen und damit auch den Ansatz der Iris nach rückwärts ziehen, was im lebenden Auge wirklich geschieht. Es wird dadurch Platz gewonnen für die wässerige Feuchtigkeit, die andrerseits durch das Vordringen der Krystallinse in der Augenaxe an Raum verliert." [2])

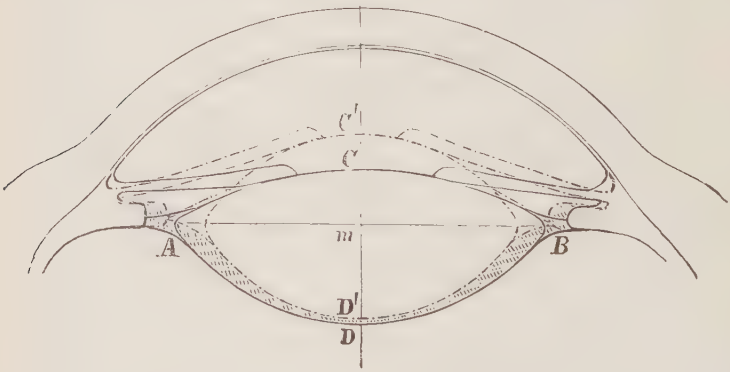
Die Linse musz entspannt werden, darauf kommt es an, und dazu ist es nötig, dasz die Zonula Zinnii erschlafft. Auf welche Weise der M. ciliaris diese Erschlaffung zu Stande bringt, thut weniger zur Sache; es ist eine Thatsache, dasz die Processus ciliares sich nach Innen verschieben und hierdurch die Anheftungspunkte der Zonula am Corpus ciliare näher aneinander bringen. Die Linse ist jetzt in dem Verhältnisse, das wir in Fig. 5 darstellten; sie wird der Neigung

[1]) Physiolog. Optik. 2e Aufl. Seite 136.

[2]) Dasz dieses im lebendigen Auge wirklich geschieht, hat Cramer gezeigt bei Kindern, nachher v. Helmholtz auch bei Erwachsenen.

die Kugelform anzunehmen, nachgeben können, wenn die Zonulablätter und die Iris der Ortsveränderung der Flüssigkeit nicht im Wege stehen. Auf diese Ortsveränderung der Flüssigkeit komme ich nachher noch zurück. Die Hinterfläche der Linse ändert sich nicht, oder sehr wenig bei der Accommodation. Daraus folgt noch nicht, was man erwarten sollte (vergleiche Fall 2 Seite 6) dasz die Linse im Ganzen nach vorne rückt. Im Gegenteil, wenn man ganz sicher feststellen konnte, dasz der hintere Pol genau auf derselben Stelle bliebe, so würde daraus folgen, dasz die Linse im Ganzen nach Hinten gerückt wäre. Construiren wir den Fall, so können wir uns davon leicht überzeugen. Nehmen wir an, dasz der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche 10 Mm. sei, der der hinteren Linsenfläche = 6, der Durchmesser (AB fig. 9) = 10, die Dicke

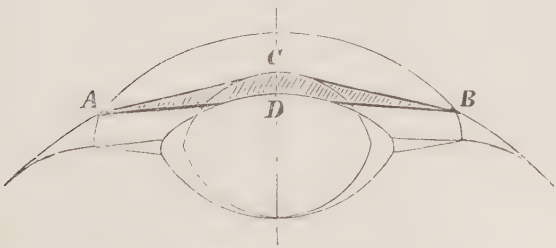
Fig. 9.



(CD) = 4 Mm. Nehmen wir weiter an, dasz (bei starker Accommodation) der Radius der Vorder- und Hinterfläche 5 Mm. sei, so können wir berechnen dasz die Dicke (C'D') = 5,1 Mm. sein musz. In der Ruhezustand ist mD = 2,6 Mm., bei Accommodation ist mD' = 2,55 Mm. ($\frac{5}{2}$). Der hintere Pol würde in diesem Falle also etwas nach vorn rücken. Aber dieser Distanz ist so gering, dasz wir annehmen dürfen, dasz diese kleine Verschiebung unmessbar ist. Wir dürfen also

annehmen, dasz die Linse während der Accommodation dieselbe Stelle hält. Da nun der Druck im Glaskörper während der Accommodation gröszer wird durch die stärkere Spannung der Chorioidea, musz auf der Vorderfläche der Linse ein Gegendruck wirken, welcher entweder von erhöhtem Druck in der Vorderkammer, oder von der Iris abhängig ist. Dasz der Druck in der Vorderkammer steigen musz scheint notwendig. Durch die Verschiebung des Corpus ciliare nach innen und durch die Formveränderung der Linse geht ein Teil des Raumes von den beiden Kammern geformt, bei der Accommodation verloren (Der schraffirte Teil in fig. 9). Ich werde zu berechnen versuchen wie grosz ungefähr die Vermehrung des Druckes in der Vorderkammer werden musz durch diese Raumbeschränkung.

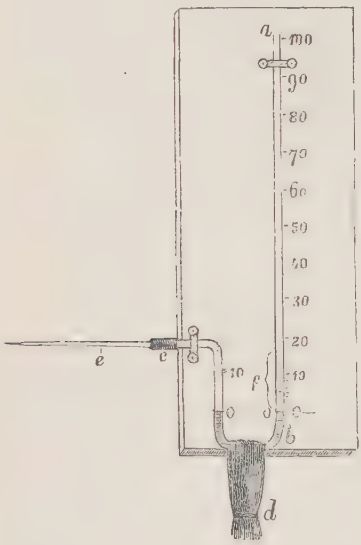
Fig. 10.



In Fig. 10 stelt ABCD den Raum vor, welchen die vordere Augenkammer durch das Vorrücken der Linse verliert. Betrachtet man diesen Raum als einen Kegel, von welchem die Basis Corneae die Basis und CD die Höhe ist [die Mittellinie der Basis Corneae (AB also) = 12 Mm., die Verschiebung des vorderen Linsenpols (CD) = 0,4 Mm.] so ist der Inhalt = $^1/_3 \pi \times 6^2 \times 0{,}4 = 15$ Mm.^{3} Der Druck wird durch das Vorrücken der Linse also ungefähr eben soviel zunehmen müssen, wie er zunimmt durch eine Quantität Wasser von 15 Mgr., welche in die Vorderkammer eingespritzt wird.

Bei diesen Versuchen bediente ich mich eines Manometers, von welchem ich hier die Zeichnung gebe. Es ist ein modificirtes Modell vom Manometer, welches v. Schultèn in v. Graefe's Archiv f. Ophthalm., 30. Bd, beschreibt. *a b c* ist ein U förmig gebogenes Glasrohr, worin am Bogen (*b*) eine Öffnung ist. Über diese Öffnung wird ein elast. Rohr geschoben, (der elast. Teil eines Augentröpflers ist zu diesem Zwecke sehr geeignet) das bei *d* zugeklemmt wird. An dem rechteckig gebogenen kurzen Arm wird, mittelst eines Kautschukrohrs, die Canüle einer Pravazschen Spritze (*e*) befestigt. In das Manometer wird nun soviel Quecksilber gethan, dasz das Rohr *d* gefüllt ist, und die Quecksilbersäule bis an *o* steht; der kurze Arm und die Nadel werden mit $^1/_2\,^0/_0$NaCl.-lösung gefüllt. Um den Einflusz der Wassersäule im kurzen Arm zu neutralisiren und zugleich auch um das Auf- und Abgehen des Quecksilbers zu befördern, wird auch in den langen Arm ein wenig Kochsalzlösung gethan (*f*).

Fig. 11.



Mit diesem Instrumente kann man leicht den Druck in der Vorderkammer (sowie im Corpus Vitreum) messen. Man sticht die Nadel durch die Cornea und drückt dann auf das Quecksilber im Rohr *d*, so lange, bis das Quecksilber im kurzen Arme wieder auf *o* steht; der Stand des Quecksilbers im langen Arme, in diesem Augenblicke gibt dann den Druck an. Da die Quecksilbersäule im kurzen Arme stets auf *o* bleibt, kann weder Flüssigkeit aus der Kammer in die Canule, noch

Kochsalzlösung aus der Canüle in die Vorderkammer kommen. Da die Spitze der Nadel einigen Raum einnimmt, musz der Druck in der Vorderkammer etwas gröszer werden. Den hierdurch verursachten Fehler kann man leicht vermeiden, wenn man einige Augenblicke wartet, ehe man zum Messen des intra-oculären Druckes übergeht. Im Auge eines Kaninchens fand ich den Druck im Corpus Vitreum 35 Mm., in einem Auge mit Glaucom (einen Augenblick vor der Exstirpation, in Chloroform-narcose) 80 Mm.!

Das hier beschriebene Manometer ist zugleich sehr geeignet für das Messen der Zunahme des Druckes bei Einspritzung kleiner Quantitäten Feuchtigkeit (10 und 15 Mgr.) in die Vorderkammer. Dazu masz ich zuvor, wie hoch die Quecksilbersäule im kurzem Arme steigen muszte, um 10 resp. 15 Mgr. Flüssigkeit aus der Canüle zu pressen. Bei toten Augen brachte ich den intra-ocul. Druck auf die gewünschte Höhe, durch Einspritzung von Flüssigkeit in den Glaskörper; dann drückte ich auf das Quecksilber-Reservoir *d* bis die gewünschte Quantität Flüssigkeit in die Vorderkammer gepresst war. Augenblicklich konnte ich dann die Zunahme des Druckes ablesen. Das Steigen des Quecksilbers im kurzem Arme wurde natürlich in Rechnung gebracht.

Kaninchen-	Auge I	intra-ocul.	Dr.	30	wird	durch	Einspritzung	v.	10cc³ =	38	Mm.
augen	„	„	„	35	„	„	„		„	44	„
(tote).	Auge II	„	„	30	„	„	„		„	47	„
	„ III	„	„	30	„	„	„		„	42	„
	„	„	„	35	„	„	„		„	52	„
	Auge IV	„	„	30	„	„	„		„	37	„
	„	„	„	35	„	„	„		„	45	„
Kaninchen-	Auge I	„	„	34	„	„	„		„	52	„
auge (lebendig).											
Schweine-	Auge I	„	„	35	„	„	„		15cc³ =	45	„
augen	„ II	„	„	35	„	„	„		„	47	„
(tote).	„ III	„	„	35	„	„	„		„	44	„
Menschen-	Auge I	„	„	25	„	„	„		15 „	45	„
augen	„	„	„	30	„	„	„		„	51	„
(von junger	„ II	„	„	25	„	„	„		„	42	„
Person).	„	„	„	30	„	„	„		„	51	„

Aus dieser Tafel sehen wir, dass die Druckzunahme durch das Vorrücken der vorderen Linsenfläche bedeutend sein konnte, ganz gewiss genügend um eine Verschiebung der Linse nach vorne, vorzubeugen. Nun ist es schon a priori unwahrscheinlich, dasz der intra-ocul. Druck bei der Accommodation so grosz werden würde, da schon kleine Erhöhungen des Druckes groszen Einflusz haben auf die Circulation in der Netzhaut. Aber auszerdem haben die Wahrnehmungen Förster's [1]) bewiesen, dasz der Druck während der Accommodation in der Vorderkammer nicht steigt.

Wir müssen also den Gegendruck auf der vorderen Linsenfläche wohl an Iriswirkung zuschreiben. Ganz unmöglich ist es nicht, dasz auch das vordere Zonulablatt einige Bedeutung hat, sicher ist es, dasz die Iris stärker auf der Linse drückt während der Accommodation.

Da die Vorderkammer durch die Linsenverschiebung bei der Accomm. kleiner wird, ohne dasz der Druck darin zunimmt, musz die Flüssigkeit, welche den verlorenen Raum einnahm, auf die eine oder andere Weise verlagert werden, ohne dasz Druckerhöhung die Ursache davon ist. Entweder der Inhalt der Vorderkammer wird dann kleiner und dann musz Flüssigkeit ausgepresst werden, oder der Inhalt bleibt derselbe, dann musz aber die Vorderkammer ihre Gestalt verändern. Filtration kann nicht absolut ausgeschlossen werden, blosz weil der Druck nicht zunimmt; es ist ja möglich dasz diese durch die Veränderung an der Irisperipherie leichter stattfindet.

---

[1]) Nach der Punction einer conischen Cornea, welche indesz keine vollständige Entleerung des Kammerwassers bewirkt hatte, collabirte die erstere zu einer Grube beim Blick in die Nähe und wurde convex beim Blick in die Ferne.

Bei einer 35 Jahre alten Frau, mit einem stecknadelknopfgroszen perforirenden Hornhautgeschwür erschien nach Abkappung des kleinen Irisvorfalles das Hornhautreflexbild mit Deutlichkeit gröszer beim Blick in die Nähe und kleiner beim Fixiren eines fernen Gegenstandes.

(Klinische Monatsbl. für Augenheilk. 1864. S. 368).

Doch es ist nicht wahrscheinlich, dasz die Menge der Flüssigkeit, welche auf diese Weise das Auge verläszt, grosz ist, weil die Filtration nur langsam erfolgt und die Accommodation so schnell zu Stande kommt.

Viel mehr ist zu sagen für die Annahme einer Vergrösz-erung der Vorderkammer, wobei die Menge Kammer-wasser vor und während der Accommodation dieselbe bleibt. Nun haben, wie ich schon erwähnte, Cramer und v. Helmholtz entdeckt, auf welche Weise die Vorderkammer u. a. gröszer wird, namentlich durch zurückziehen der Iris an der Peripherie. Auch durch dünnerwerden der Iris würde die Kammer an Raum gewinnen, sei es durch Beseitigung von Lymphe, welche in den Gewebespalten angehäuft ist, sei es durch Contraction der Blutgefässe. Jedoch diese Vermutung hat wenig Wahrschein-liches.

So kommen wir zum Schluss, dasz das Gröszerwerden der Vorderkammer hauptsächlich abhängt vom Zurücktreten der Irisperipherie. Mit Vorbedacht spreche ich von Zurücktreten, nicht von Zurückweichen, weil die Lageveränderung activ, d. h. durch Muskelwirkung, und nicht passiv, d. h. durch den Druck des Kammerwassers stattfindet. Im letzten Falle würde der Druck in der Vorderkammer zunehmen müssen, und wir sahen schon, dasz dies nicht geschieht. Das Vorrücken der vorderen Linsenfläche musz direkt von dieser Ortsveränderung der Flüssigkeit abhangen; die Elasticität der Kapsel für sich würde eine nur sehr geringe Ortsveränderung der Flüssigkeit ver-ursachen können.

Der Inhalt des Obenstehenden kurz zusammengefasst ist daher Folgendes:

Die Erscheinungen, welche bei der Accommodation im menschlichen Auge wahrgenommen werden, können nicht alle erklärt werden, wenn man den Ciliarmuskel nur betrachtet als Entspanner der Zonula Zinnii. Durch Entspannung würde

die Linse nicht dicker werden können. Die Verschiebung der Linse nach vorne ist eine Folge von der Vergröszerung der Vorderkammer an ihrer Peripherie, verursacht durch Contraction des M. ciliaris.

Die combinirte Wirkung des M. ciliaris also, erschlaffen der Zonula, hauptsächlich durch die circulären Bündel, und zurückziehen der Irisperipherie durch die meridionalen und radiären Bündel, erklärt meiner Ansicht nach, in Principe alle Erscheinungen.

Die Theorie von v. Helmholtz wird jedoch noch immer bestritten; in der letzten Zeit hauptsächlich von Schoen [1]) in Leipzig. Nach ihm ist es eine Unmöglichkeit, dasz die Linse an ihrer Stelle bleibt, wenn die Zonula weniger gespannt ist und der Druck in der Vorderkammer nicht, wohl aber der in der hinteren Kammer zunimmt. Das vordere Zonulablatt (nur hierauf kommt es an) musz nach Schoen mehr, statt weniger gespannt werden, da der Druck im Glaskörper während der Accommodation zunimmt. Dieser Zustand kann, wie Schoen meint, erreicht werden, wenn die Processus ciliares sich nach hinten und zugleich nach innen verschieben.

Dieser Einwand von Schoen gegen die Theorie von v. Helmholtz hat, meiner Ansicht nach, nicht viel zu bedeuten; ich glaube oben genügend bewiesen zu haben, dasz die Zonula allerdings erschlaffen kann, ohne dasz die Linse nach vorne zu gehen braucht. Aber es giebt eine andere Schwierigkeit welche auch von Schoen angeführt wird, nämlich, dasz die Elasticität der Linsenkapsel nicht im Stande ist, der Vorderfläche der Linse eine so starke Krümmung zu verleihen, wie bei starker Accommodation gefordert wird.

Berechnen wir dazu, wie grosz der Krümmungsradius der vorderen Linsenfläche sein musz:

A in einem emmetrop. Auge, accomm. für 100 Mm.

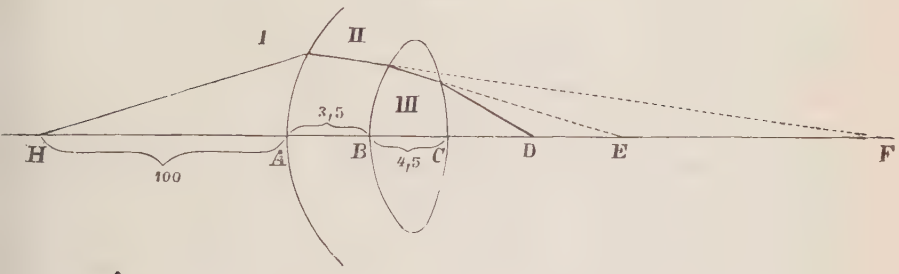
---

[1]) Schoen, die Functionskrankheiten des Auges.

B in einem hypermetrop. Auge, von 4 D. accomm. für 300 Mm.

A Emmetropisches Auge, accomm. für 100 Mm.

Fig. 12.



Gegeben:

Krümmungsradius der Cornea = 8 Mm.
id. der hinteren Linsenfläche = 5 „
AB = 3,5 „
BC = 4,5 „
CD = 14,6 „
(berechnet)

$n_{\text{I–II}} = \frac{103}{77}$, $n_{\text{II–III}} = \frac{112}{103}$

CD ist die Entfernung von der Netzehaut zur Hinterfläche der Linse. Diese Entfernung beträgt 14,6 Mm. in einem emmetropischen Auge, wo der Krümmungsradius der Cornea = 8, der der vordern Linsenfläche = 10, der der hinteren Linsenfläche = 6, die Entfernung von Linse und Cornea = 4 und die Dicke der Linse = 4 Mm. ist.

Da F der conjugirte Vereinigungspunkt von H ist, E der virtuelle conjugirte Vereinigungspunkt von D, können die Distanzen AF und CE leicht berechnet werden.

Für AF gilt die Formel 7 § 1287 von Bossche (Leerboek der natuurkunde 1889)

$$\frac{1}{f_2} + \frac{1}{n_{1-2} f_1} = \frac{n_{1-2} - 1}{n_{1-2}} \cdot \frac{1}{r}$$

Für CE : (Formel 6 § 1287 Bosscha)

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{n_{2-3} f_1} - \frac{n_{2-3} - 1}{n_{2-3}} \cdot \frac{1}{r}$$

Wir finden also: AF = 41,5
CE = 21,3

Aus diesen Angaben können wir alsdann den Krümmungsradius der Vorderfläche der Linse berechnen, also:

$$\frac{1}{BF} = \frac{1}{BE\ n_{3-2}} + \frac{n_{3-2} - 1}{n_{3-2}} \cdot \frac{1}{x} \text{ (Form. 5 § 1287, B.)}$$

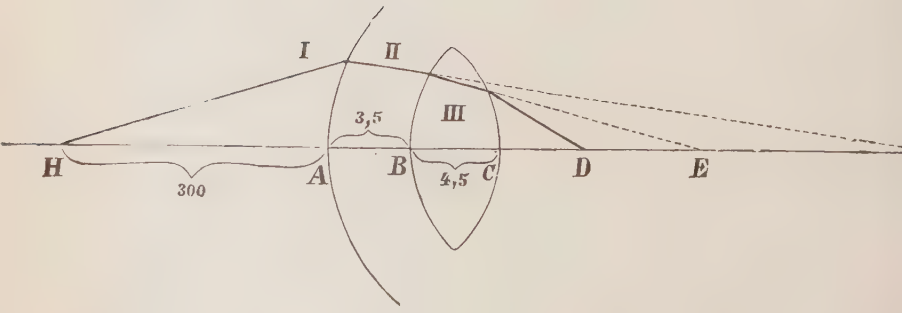
$$\frac{1}{38} = \frac{1}{25{,}8 \times \frac{103}{112}} + \frac{\frac{103}{112} - 1}{\frac{103}{112}} \cdot \frac{1}{x}$$

$x = 5{,}5$ Mm.

B. Hypermetrop. Auge von 4 Dioptrien accommod. für 300 Mm.

Gegeben:
AF (berechnet) = 34,4
Strahl v. Cornea = 8,—
Strahl v. hinteren Linsenfläche = 5,—
CD (berechnet) = 13,5

Fig. 13.



Gefragt:

Krümmungsradius v. vord. Linsenfläche.

CE (Form. 6 § 1287 B) = 19,2

$$\frac{1}{BF} = \frac{1}{n_{3-2}\ BE} + \frac{n_{3-2} - 1}{n_{3-2}} \cdot \frac{1}{x}$$

$$\frac{1}{30,9} = \frac{1}{\frac{103}{112} \times 23,7} + \frac{\frac{103}{112} - 1}{\frac{103}{112}} \cdot \frac{1}{x}$$

$$x = 6,4 \text{ Mm.}$$

Aus obenstehenden Beispielen sehen wir, dasz die Krümmung der vorderen Linsenfläche bedeutend zunehmen musz bei starker Accommodation. Im E. Auge musz der Radius von 10 Mm. auf 5,5 Mm. zurückgehen, im Hm. Auge von 10 Mm. auf 6.4 Mm. Da ein junges E. Auge selbst bis auf 75 Mm. accommodiren kann, musz der Krümmungsradius noch kleiner (4,6 Mm.) werden können. Wirklich scheinen grosze Krümmungsveränderungen gemessen zu sein, obgleich die Differenzen nicht so grosz sind, wie ich für das E. Auge berechnet habe. Sehen wir die Zusammenstellung, welche v. Helmholtz [1]) auf Seite 147 gibt, dann finden wir mitunter:

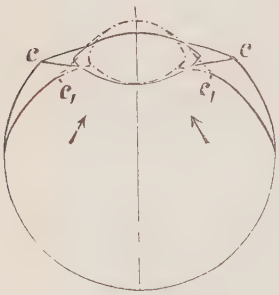
		Krümmungsradius d. Cornea.	Abstand der vorderen Linsenfläche von dem Hornhautscheitel		Abstand d. hinteren Linsenfl von dem Hornh. scheitel		Krümmungsradius der vord. Linsenfl.		Krümmungsradius der hint. Linsenfl.	
			für Entf.	für Nähe	für Entf.	für Nähe	für Entf.	für Nähe	für Entf.	für Nähe
v. Helmholtz	I	7,338	4,024	3,664	7,172	7,172	11,9	8,6	5,83	
Knapp.	II	7,205	3,478	2,843	7,101	7,101	9,06	5,02	6,49	5,08
Mandelstamm und Schöler	III	7,34	3,70	3,46	7,578	7,904	10,54	6,48	6,40	5,04
Woinow.	IV	8	3,61	3,00	7,200	7,200	9,37	5,23	6,24	4,97

Kann nun, durch die Elasticität der Kapsel allein, eine so starke Krümmung entstehen? Über diesen Punkt können Messungen an toten Linsen uns Licht verschaffen; eine tote

[1]) V. Helmholtz. Physiol. Optik. 2° Aufl.

Linse, eine Linse also, welche ganz erschlafft ist, wird doch wohl am meisten der Kugelform gleichen. Wir finden bei v. Helmholtz auf Seite 102, als Krümmungsradius im Scheitel der vorderen Linsenfläche die Zahlen 10,162 und 8,865; diese Zahlen gehören zwei Linsen an, welche v. Helmholtz 12 Stunden nach dem Tode untersuchen konnte. Wir sehen aus diesen Ziffern, dasz sie ziemlich gut übereinstimmen mit denjenigen, welche gefunden werden bei Linsen, welche auf Entfernung eingestellt sind [1]), dasz sie aber überhaupt nicht den Zahlen gleichen, welche den Radius der vorderen Linsenfläche angeben bei starker Accommodation. Von Helmholtz gibt nicht an, ob die Linsen von alten oder jungen Individuen sind; die Möglichkeit ist also nicht ausgeschlossen, dasz sie von sehr alten Personen stammten, bei welchen das Accommodationsvermögen verschwunden war. Wahrscheinlich ist dies jedoch nicht, da v. H. zur Berechnung der Cardinalpunkte von toten Linsen, nur diese zwei Linsen gebraucht hat.

Fig. 14.



Schoen [2]) meint, dasz es auszer der Elasticität der Kapsel, noch eine andre Kraft gebe, welche der vorderen Linsenfläche die Krümmung verleiht, welche gefordert wird bei höhen Graden von Accommodation. Er vermutet, dasz der Corpus ciliare nach hinten und nach innen gezogen werde (c, geht nach c_1, sieh Fig. 14); dadurch werde der Druck im Glaskörper gröszer und da die Linse gezwungen werde die Form des vorderen Zonulabogen anzu-

---

[1]) V. Helmholtz selber sagt auch Seite 144: Bei zwei toten Linsen fand ich mit dem Ophthalmometer den Krümmungsradius der vorderen Fläche gleich 10,2 und 8,9 Mm. was mit den Messungen an den lebenden Augen gut stimmt.

[2]) Schoen, Functionskrankheiten d. Auges, Seite 37.

nehmen, nehme die Wölbung der Vorderfläche zu. „Die Vorderfläche der Linse wird stets fest gegen den vorderen Zonulabogen angepresst und musz sich unter allen Umständen der Gestalt desselben anpassen, die Ruheform der Linse mag sein, welche sie will." [1])

Ich glaube nicht dasz die Schwierigkeit hierdurch gelöst wird, ich meine selbst beweisen zu können, dasz die gröszere Wölbung der Vorderfläche der Linse, welche bei der Accommodation gemessen wird, sich nicht gleichmäszig über die **ganze** Vorderfläche ausbreitet.

Diese Behauptung gründet sich auf die Thatsache, dasz die Dicke, welche die Linse bei der Accommodation annimmt, viel kleiner ist, als sie sein muszte, wenn die Accomm. die Folge war von einer gleichmäszigen Zunahme der Wölbung der ganzen Vorderfläche.

Fig. 15 *a.* stellt eine Linse in Ruheform vor.

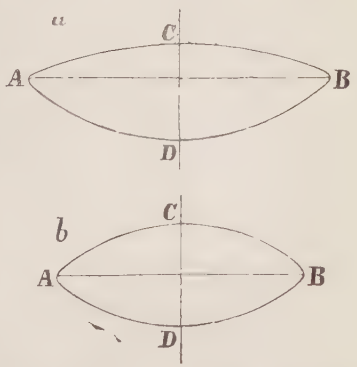
Radius der Vorderfläche = 10

„ „ Hinterfläche = 6

AB = 10, CD = 4 Mm. Der Inhalt ist dann = 167,5 Mm³.

Fig. 15, *b.* stellt dieselbe Linse vor im Accommodationszustande.

Fig. 15.



Radius der Vorderfläche = 5, der Hinterfläche = 5 und Inhalt = 167,5 Mm³. Berechnen wir aus diesen Angaben die Distanz CD (die Dicke also), dann finden wir dafür 5,1 Mm. Die Zunahme an Dicke beträgt also *1,1 Mm.* Vergleichen wir diesen Fall mit N°. XIV (Reich) aus der Tabelle von v. Helmholtz (Seite 147), der ziemlich wohl dieselbe gegeben hat, so finden wir einen groszen Unterschied. Reich fand durch Messung eine Dickenzunahme von 0,396 Mm.,

[1]) Schoen, die Functionskr. u. s. w. Seite 34.

wärhend durch Berechnung eine Dickenzunahme von mehr als 1 Mm. erhalten wird.

Nehmen wir einen andern Fall, z. B. den wo bei Mandelstamm und Schöler [1]) die Untersuchungen angestellt haben (sieh N°. III in der Tabelle auf Seite 23).

Radius der Vorderfläche	= 10,5	in Ruhe	 6,5	bei Accommodation.	
„ „ Hinterfläche	= 6,4		. . . . 5.		
Dicke	= 3.9		 4,4		

CD aus diesen Angaben (für Accommodationzustand) berechnet, beträgt 4,8. Hier finden wir durch Rechnung eine Dickenzunahme von 0,9, während durch Messung 0,54 erhalten war; also eine Differenz von 0,36 Mm. Man soll diese Differenzen nicht gering schätzen. Nach v. Helmholtz, können die durch Rechnung erhaltenen Zahlen bis auf Hundertel eines Millimeters genau sein.

In Wirklichkeit kommt also die Vorderfläche der Linse nicht so weit nach vorne, wie sie thun muszte, wenn die stärkere Wölbung, welche am vorderen Pole gemessen wird, sich über die ganze Vorderfläche ausdehnte.

Wie von selbst kommen wir jetzt dazu, anzunehmen, dasz sich der Teil der Vorderfläche der Linse, welcher sich in der Nähe des Vorderpoles befindet, bei der Accommodation stärker wölbt, als der übrige Teil; nur auf diese Weise kann die zu starke Wölbung in Verhältnis zur Dickenzunahme erklärt werden. Die Iris musz davon die Ursache sein. So kommen wir unwillkürlich auf eine andere Accommodationstheorie, welche zu gleicher Zeit mit der von v. Helmholtz bekannt gemacht wurde, nämlich die des Holländers Cramer [2]). Wir wissen, dasz Cramer die ganze Accommodation der Iriswirkung zuschrieb, gewiss ist er darin zu weit gegangen, dennoch haben nach meiner Ansicht seine Untersuchungen bewiesen, dasz die

[1]) In diesem Falle ist zu bemerken, dasz die Hinterfläche der Linse sich bei der Accommodation nach hinten verschob.

[2]) Cramer, Het Accommodatievermogen der oogen, 1853.

Iris ohne Zweifel Einflusz ausüben kann auf die Krümmung der vorderen Linsenfläche [1]). Eigentlich musz es Erstaunen erregen, dasz Cramer's Resultate so ganz und gar zur Seite gelegt sind. Wahrscheinlich hat dessen Schuld der von v. Graefe mitgeteilte Fall von einem Auge, woraus die ganze Iris, durch Operation entfernt worden war und wo dennoch die normale Accommodationsbreite bestand [2]). „Daraus geht hervor (sagt v. Helmholtz Seite 138), dasz die Iris bei der Accommodation keine wesentliche Rolle spielt, wie es A. Cramer vermutet

---

[1]) Cramer beschreibt diese Untersuchungen wie folgt (Seite 58): „Auf die Öffnung der Untersuchungstafel legte ich einen hölzernen Ring. Ich nahm jetzt dat Auge eines ungefähr 5 Wochen alten, durch Aufhängen getöteten Seehundes (phoca litorea), von welchem ich die Muskeln, das Fett, u. s. w. wegschnitt, sodasz das Auge von den ihm umgebenden Teilen entblöszt war. An der Hinterfläche des Auges wurden dann die Sclerotica, Chorioidea und Retina in gewissem Umfange, ohne Beschädigung des Corpus Vitreum abpräparirt. Das Auge wurde nun, mit der Cornea nach unten, auf den hölzernen Ring, über die Öffnung in der Untersuchungstafel gelegt. Durch genaue Einstellung des Microskopes — also auch des Spiegels — konnte ich nun die Flamme einer auf ungefähr 35 Centimeter Entfernung aufgestellten Kerze sehr deutlich auf der Hinterfläche des Glaskörpers vergröszert wahrnehmen. Nun liesz ich an beiden Seiten der Cornea, den Strom des magneto-electrischen Rotationsapparates anbringen und besah inzwischen die Flamme auf der Hinterfläche des Corpus Vitreum mit dem Microskop bei einer 80-fachen Vergröszerung. Jedesmal wurde bei Anwendung des Stromes die Flamme breiter, undeutlicher, oder wohl weniger begrenzt. Auch mit dem bloszen Auge konnte dieses wahrgenommen werden.

Daraus ging deutlich hervor, dasz das Auge durch die Anwendung des electrischen Stromes sich jedesmal für die Nähe accommodirte."

Später beweist er, dasz diese Veränderungen durch Contraction der Iris verursacht sein müssen (S. 91).

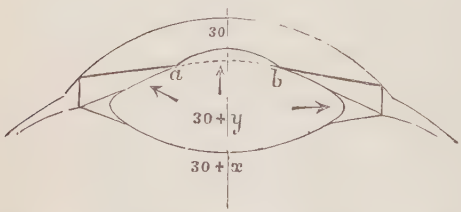
„Der Druck der Iris auf den Processus ciliares und der Zonula Zinnii wird also durch die in der Canalis Petiti enthaltene Flüssigkeit auf den Linsenrand transportirt," sagt Cramer weiter (Seite 96). „Bei einer kleinen Pupille drückt die Iris, wie wir schon oben sagten, zugleich auf der vorderen Linsenfläche ringsum ihren Rand."

[2]) A. v. Graefe, in v. Graefe's Archiv. f. Ophthalmologie VII. (2°) Seite 150.

hatte." Aber hatte v. Graefe wohl das Recht, aus dem von ihm mitgeteilten Falle den Schlusz zu ziehen, dasz „sich aus dem erwähnten Krankheitsfalle die Unabhängigkeit der Accommodationsvorgänge von der Gegenwart der Iris ergibt"? Nach meiner Ansicht gewiss nicht. Da bestand noch ein gutes Accommodationsvermögen, aber war das eben so gut, wie vor dem Verluste der Iris? Das konnte v. Graefe nicht anzeigen, weil er nicht die Gelegenheit hatte, den Patienten vor dem Unfalle zu untersuchen. Ein Vergleich mit dem andern Auge konnte eben so wenig Sicherheit geben, weil dieses Auge ein sehr schlechtes Sehvermögen hatte. Auszerdem musz man nicht vergessen, dasz die Abwesenheit der Iris in gewisser Hinsicht die Accommodation befördern kann, weil die Linse sich dann bei der Accommodation mehr nach vorne verschiebt.

Theoretisch kann man leicht beweisen, dasz die Iris Einflusz hat auf die vordere Linsenfläche. Auf Seite 10 haben wir gesehen, dasz der Druck im Corpus vitreum gröszer sein musz, als in der Vorderkammer. Setzen wir den Druck in der Vorderkammer $= 30$, dann ist er im Corpus vitreum $30 + x$, (in der Linse $30 + y$, worin y den Druck vorstellt, welcher verursacht wird von der Linsenkapsel + Umgebung). Die Linse ist dann umgeben von einer Flüssigkeit, in welcher ein Druck besteht von $30 + x$, auszer auf einer Stelle, nämlich in der Pupillenfläche, wo der Druck $= 30$ ist. Auf diese Stelle wird der gröszere Druck im Corpus vitreum seinen Einflusz ausüben können; die Wand musz da nach vorne ausweichen. Wie grosz die Ausweichung sein wird, hängt ab: a, von der Grösze von x, b, von der Elasticität der Linsenkapsel und c, von der Consistenz des Linseninhaltes. Die Grösze der Krümmungszunahme wird erstens abhängen von der Entfernung ab,

Fig. 16.



von der Grösze der Pupille also; je kleiner die Pupille um so gröszer die Krümmungszunahme.

Dasz die Iris ihren Einflusz auch ausüben kann in einem Auge, das für die Ferne eingestellt, ist deutlich. Dieser Einflusz musz dann jedoch viel geringer sein, als im Auge das für die Nähe accommodirt, weil die Iris weniger gespannt und die Pupille viel gröszer ist.

Ich meine im Obenstehenden, durch Combination der Theorien von v. Helmholtz und Cramer, alle Erscheinungen, welche bei der Accommodation wahrgenommen werden, erklärt zu haben.

Herr Professor Leber war so freundlich mich aufmerksam zu machen auf eine Arbeit über den Mechanismus der Accommodation von Tscherning, erschienen in den „Archives de physiologie normale et pathologique, Janvier 1894". Mittelst eines Instrumentes, das er ophtalmophakomètre nennt, konnte Tscherning alle optischen Constanten des Auges sehr genau messen. Er fand, „que le rayon de la surface antérieure du cristallin accommodé augmente d'une manière très considérable vers la périphérie. Tandis que le rayon au sommet était de 5 millimètres, il mesurait déjà plus de 8 millimètres à une distance de 1 Mm. 4 de l'axe."

In dieser Arbeit werden meine theoretischen Annahmen also vollständig bestätigt. Fürs Übrige weicht die Erklärung welche Tscherning vom Mechanismus der Accommodation giebt in jeder Hinsicht von meiner Vorstellung ab.